

社団法人 日本設計工学会 四国支部
平成 21 年度研究発表講演会
講演論文集

開催日：2010 年 3 月 16 日（火）
会 場：香川大学 工学部

主 催
社団法人 日本設計工学会 四国支部
共 催
香川大学 工学部

超伝導体の運動を制御することによる制振機構

楠川量啓 (正、高知工科大学)

岡 宏一 (高知工科大学)

○氏原孝節 (高知工科大学工学部)

中村将吾 (高知工科大学大学院)

1. 背景および研究概要

磁気軸受は、高速化やメンテナンスフリーのためにロータを非接触で浮上させ回転させる装置である。浮上体支持のため常電導磁石を用い、その吸引力を制御している方式がほとんどである。

これに対し、超伝導体を用いた方式は無制御でよい。ため装置の小型化が期待できる。しかし、超伝導体を用いた磁気軸受は高速回転により発生した振れ回りを抑制する力が弱いことが欠点にあげられる¹⁾。

本研究では、その超伝導軸受の振れ回り問題において、超伝導体を動かすことで振れ回りを抑制させるための基礎実験を行った。

2. 超伝導体を用いた磁気軸受の振れ回り抑制

超伝導体を用いた磁気軸受は電力貯蔵用のフライホイールや宇宙用のフライホイールなどに使用されている。

2. 1 超伝導体を用いた磁気軸受

Fig.1 は超伝導体を用いた磁気軸受をモデル化したものの断面図である。フライホイールが重いため縦軸型の磁気軸受を提案する。中央部に記されているのが超伝導体を用いた磁気軸受である。上下にある磁気軸受には永久磁石を用いた方式を採用した。左右対称に位置する、超伝導軸受と上部の永久磁石の軸受はリング状である。

Fig.2 は、先ほどモデル化した永久磁石を用いた磁気軸受の安定性を示している。下部の軸受では、永久磁石同士の反発力によりフライホイールを浮上させ、上下方向に支持している。しかし、左右方向には不安定である。これに対し、上部にある軸受は左右方向に安定で回転主軸の位置決めをしているが、上下方向には不安定である。この磁気軸受をより安定させるため超伝導体を用いる。

Fig.3 はモデル化した磁気軸受の超伝導軸受部の安定性を示している。超伝導体のピン止め効果により固

定されたロータは、上下左右の方向に位置決めし、安定したと考えられる。

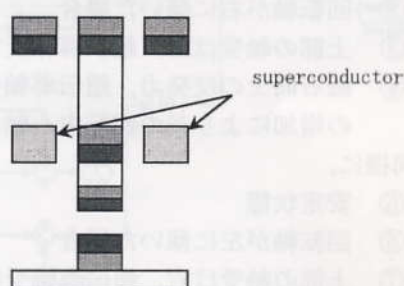


Fig.1 superconductor magnetic bearing

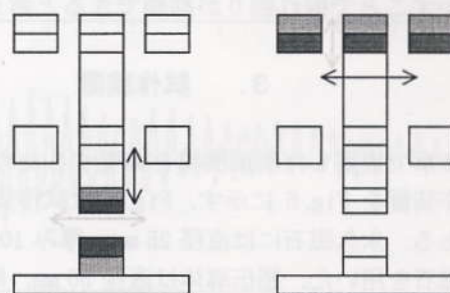


Fig.2 magnetic bearing

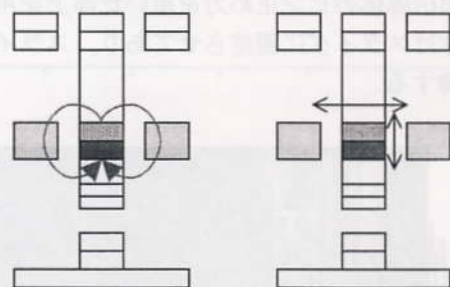


Fig.3 superconductor magnetic bearing

2. 2 振れ回り抑制方法

超伝導軸受の浮上原理として簡潔に説明する。浮上体が平衡状態である回転軸からずれると磁力線がピン止めされているため、復元力で元の位置に戻ろうとする。この受動的な復元力のみによる抑制では振れ回りが発生すると振動が長く続くと考えられる。

そこで、2.1 節で紹介したモデルを用いて振れ回りの抑制方法を Fig.4 に提案する。下部の永久磁石を用いた磁気軸受は浮上を目的とし、提案する振れ回りの抑制方法では考慮しないこととする。非接触によって高速回転が可能になった磁気軸受の回転主軸の重心に遠心力が加わって振れ回りが発生、またはフライホイールの偏心によって振れ回りが発生したと仮定する。

- ① 安定状態
- ② 回転軸が右に傾いた場合
- ③ 上部の軸受は左、超伝導軸受は右に移動
- ④ 磁石同士の反発力、超伝導軸受の復元力の増加により元の回転中心軸に戻る

同様に、

- ⑤ 安定状態
- ⑥ 回転軸が左に傾いた場合
- ⑦ 上部の軸受は右、超伝導軸受は左に移動
- ⑧ 磁石同士の反発力、超伝導軸受の復元力の増加により元の回転中心軸に戻る

これらのように上部の軸受や超伝導軸受を能動的に動かすことで振れ回りが抑制できると考える。

3. 試作装置

2 章で提案した制振機構を実現するため、作製した試作装置を Fig.5 に示す。Fig.6 は試作装置の概略図である。永久磁石には直径 25 mm、厚み 10 mm のネオジム磁石を用いた。超伝導体は直径 50 mm、厚み 10 mm のものを使用する。第一種超伝導体によるマイスナー浮上では浮上力が小さいため、本研究では工業分野で使われることが多く、比較的安定な浮上が得られる第二種超伝導体のピン止め力を用いた浮上を用いる。超伝導体はスライダに固定させてあり、スライダを一軸で制御する。

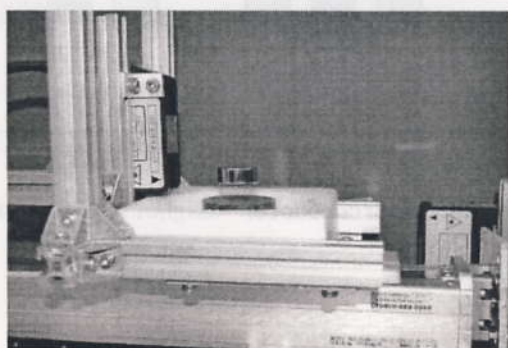


Fig.5 test model

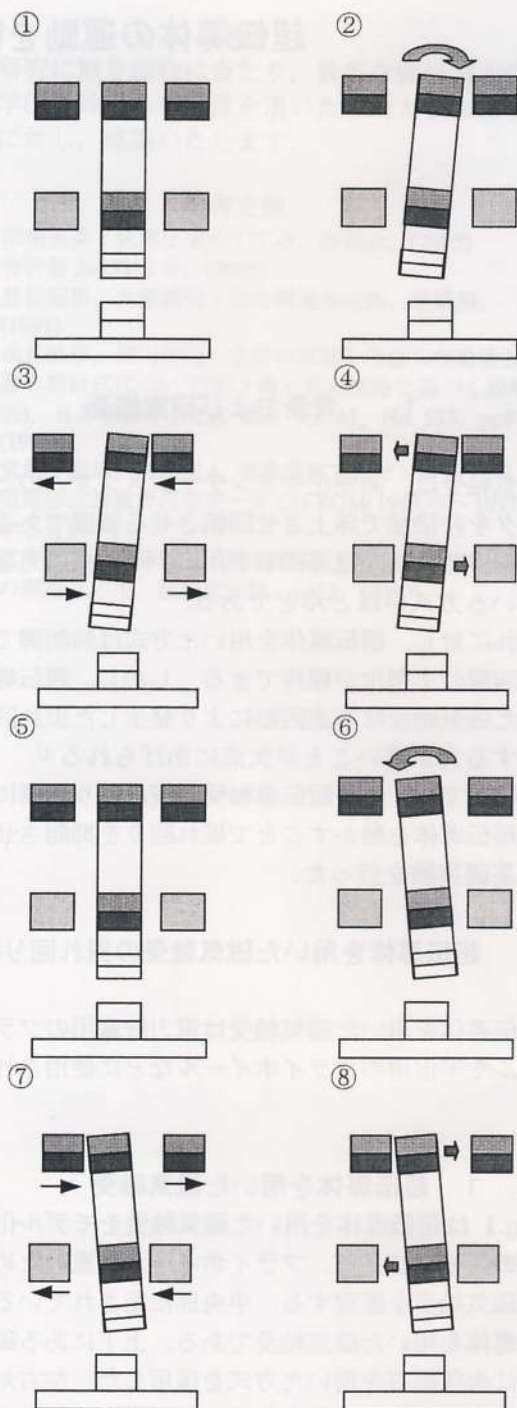


Fig.4 whirling of inhibition mechanism

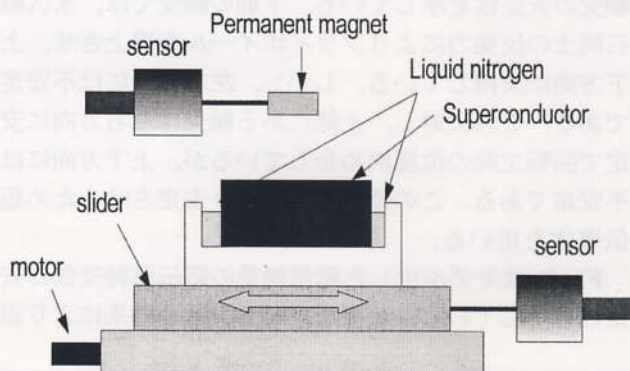


Fig.6 diagrammatic illustration

3. 1 振動抑制方法

2章で提案した振れ回り制御の第一段階として一軸のみの制御を行った。浮上体に自由振動を与え、その振動を抑制する。

振動抑制方法として Fig.7 に表す. Fig.7 は超伝導体の上に永久磁石の中心軸が鉛直方向になるようにピン止め浮上させ, 振動を与える.

- ① 安定状態
- ② 浮上体が左に動いた場合
- ③ 超伝導体を右に動かす
- ④ 浮上体の復元力が増加
- ⑤ 中心軸に戻る

同様に,

- ⑥ 安定状態
- ⑦ 浮上体が右に動いた場合
- ⑧ 超伝導体を左に動かす
- ⑨ 浮上体の復元力が増加
- ⑩ 中心軸に戻る

これらのように超伝導体を動かすことで、能動的に復元力が増加され、振動抑制ができると考えられる。

モータの制御には Dspace を用い、Simulink のよるブロック線図を Fig. 8 に示す。位置センサで浮上体の動きと逆の方向にスライダを制御している。

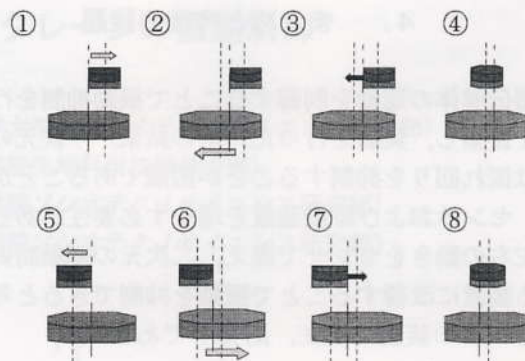


Fig.7 vibration suppression principle

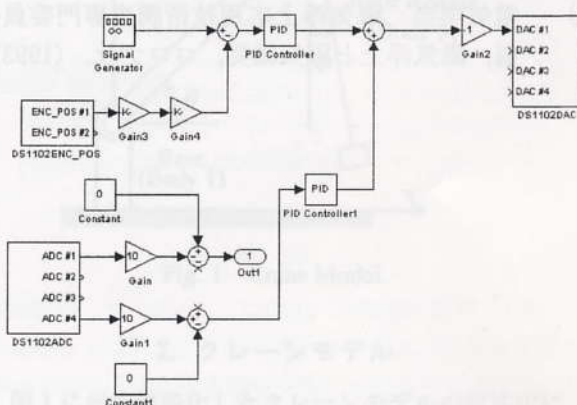


Fig. 8 block diagram in Simulink

3. 2 実験結果

Fig. 9 は超伝導体を動かし、制御した場合の浮上体の動きである。Fig. 10 はスライダに固定した超伝導体の動きを示したものである。これらを比較すると、浮上体と超伝導体が逆方向に動いていることが確認できる。

Fig. 11は超伝導体の運動制御の有無による永久磁石の振幅を比較したものである。破線は受動的な復元力による永久磁石の振幅を表している。実線は制御した場合の振幅である。

前半の振幅は抑制されているように見られるが、0.5 mm程度の振れが続いているため当初の目的が達成されているとは言えない。スライダの高速振動による慣性力を考慮していないためであると考えられる。

浮上体に振動を与えた時に振動だけでなく低速回転が加わり、振れ回りが発生した。その回転軸が振れ回るのが振れ続けるもう一つの原因と考えられる。この振れ回りに対する解決策としてセンサを増やし、二次元で制御することによって抑制できると考える。

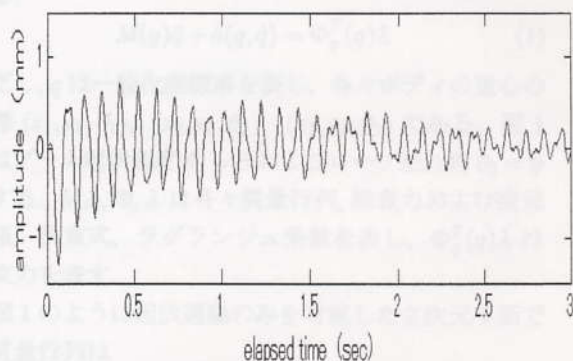


Fig. 9 permanent magnet of amplitude

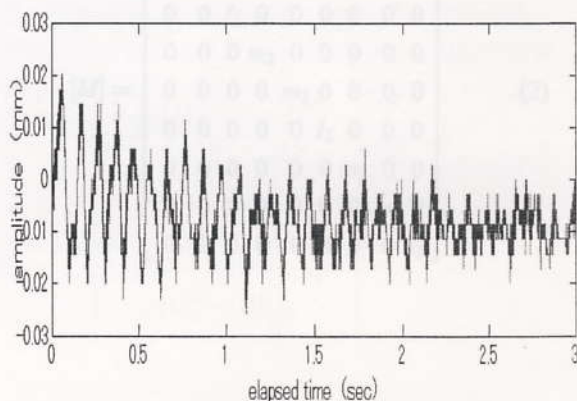


Fig. 10 superconductor of amplitude

4. まとめと今後の課題

超伝導体の運動を制御することで振動抑制を行う機構を提案し、実験を行った。その結果、一次元の制御では振れ回りを抑制することが困難であることが分かり、センサおよび駆動装置を増やす必要がある。前後左右の動きをセンサで捉え、二次元の運動制御が行える装置に改善することで振動を抑制できると考えられる。この装置は現在、開発中である。

参考文献

- 1) 電気学会 磁気浮上応用技術調査専門委員会編, 磁気浮上と磁気軸受, コロナ社, (1993)

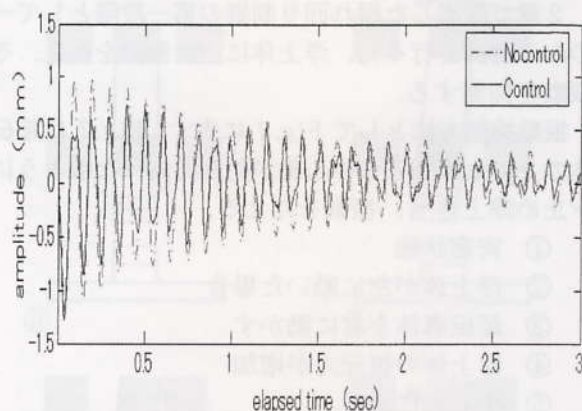


Fig.11 amplitude comparison data

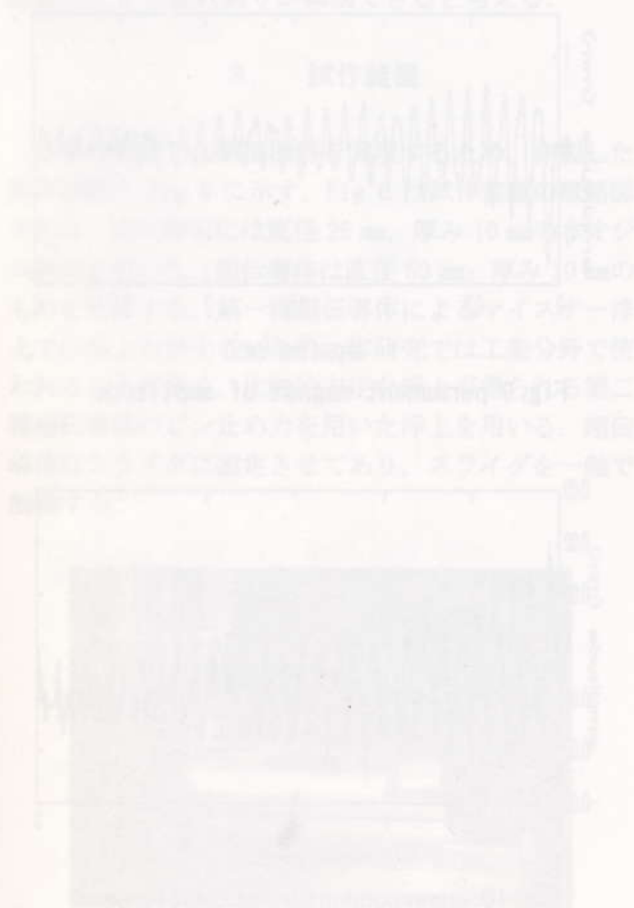


Fig.5 test model

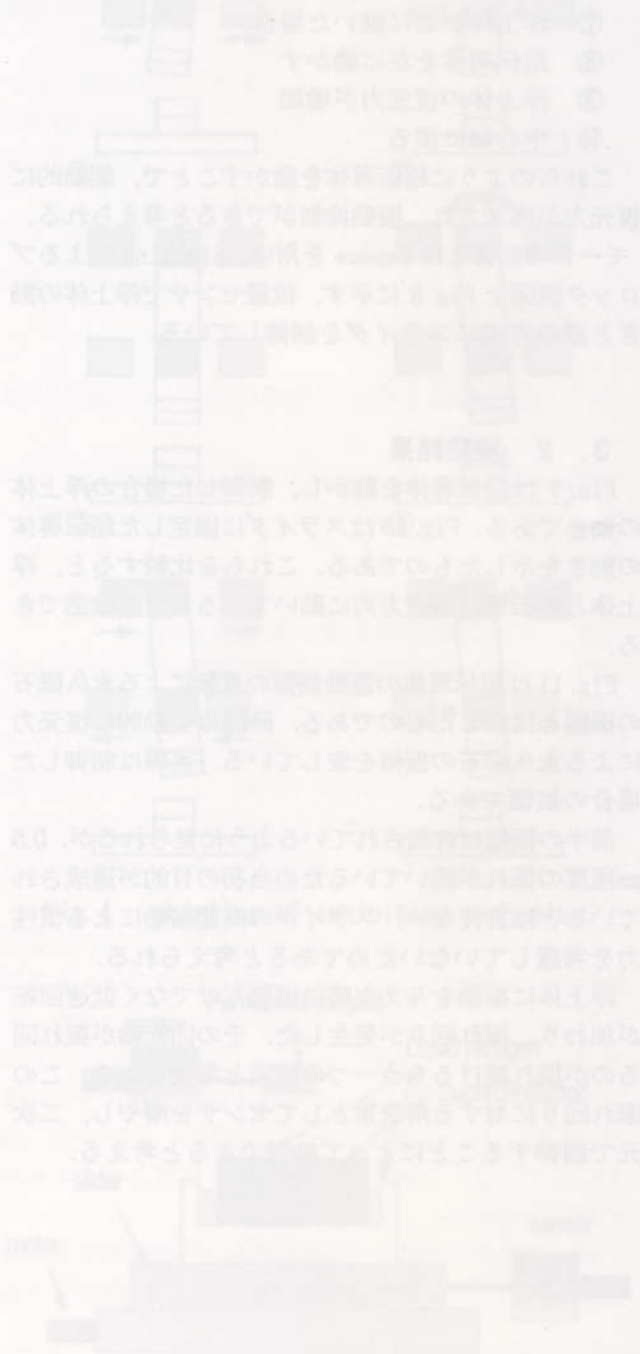


Fig.6 diagrammatic illustration